



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ PRŮTOKU

FLOW MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROMAN DVOŘÁK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BENEŠ, Ph.D.

BRNO 2009



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Roman Dvořák

ID: 73054

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Měření průtoku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou měření malých průtoků technických kapalin. Provedte průzkum trhu s malými čerpacími stanicemi a navrhnete variantní vlastní řešení. Volbu jednotlivých prvků systému zdůvodněte a dle možností i prakticky ověřte. Diskutujte dosažené parametry stanice ve srovnání s komerčně dostupnými systémy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je provedení analýzy dostupných malých čerpacích stanic. Základem bylo seznámit se s možnostmi měření malých průtoků a z nich vybrat nejvhodnější možné řešení, popřípadě osadit vhodným čerpadlem a zpracovávací jednotkou. Po uvedeném teoretickém rozboru v první části následuje druhá část, kde se nachází výčet mnou vybraných prvků stanice s uvedenými důvody výběru. Po realizaci celého systému byla v poslední části provedena kalibrace a nastavení vyhodnocovací části čerpací stanice pro danou kapalinu. Výsledné řešení bylo porovnáno s komerčně dostupnými systémy malých čerpacích stanic.

Klíčová slova

Měření průtoku, průtokoměr, měření frekvence otáček, ATmega16, displej 16x2, čerpací stanice.

Abstract

Bachelor's thesis is elaboration an analysis accessible small gas station. The base was meet possibilities in measurement of small flows and of them choose optima suitable solution, eventually occupy fit pump and process device. After the introduced theoretical analysis in the first part is continuing the second part, where finds enumeration me choice elements station with presented cause selection. After realization all part of system was at last parts effected calibration and setting process device part gas station. Resulting solving was collated with commercially accessible systems small gas station.

Keywords

Flow measurement, flowmeter, measurement frequency turns, ATmega16, display 16x2, gas station.

Bibliografická citace

DVOŘÁK, R. *Měření průtoku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 54 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Měření průtoku* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

Obsah

ÚVOD.....	11
1. NORMY PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU.....	12
1.1 Kategorie měřidel [4]	12
1.2 Cejchování měřidel [4]	12
1.3 Metrologie [28],[4]	13
2. PRINCIPY PRŮTOKOMĚŘŮ	14
2.1 Průřezové průtokoměry [1],[12]	14
2.2 Rychlostní průtokoměry [1],[15]	15
2.3 Objemové (hmotnostní) průtokoměry[1],[8]	16
2.4 Ultrazvukové senzory průtoku [1],[15].....	18
2.5 Indukční senzory průtoku [1],[15]	19
2.6 Průtokoměry v praxi [14].....	20
3. ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU.....	23
3.1 Mikroprocesor	23
3.2 Ovládací prvky	24
3.3 Zobrazovací zařízení	24
4. REALIZACE	25
4.1 Zásobník kapaliny	25
4.2 Podmínky realizace	27
4.2.1 Druh kapaliny	27
4.2.2 Provozní tlak	28
4.2.3 Rychlost průtoku kapalin	28
4.2.4 Přítomnost napájení, popřípadě jeho velikost.....	28
4.2.5 Okolní podmínky (teplota, vlhkost ...).....	29
4.3 Čerpadlo	29
4.4 Průtokoměr.....	30
4.4.1 Použití různých kapalin	32
4.5 Zpracování signálu	33

4.6 Realizace zapojení.....	35
5. MĚŘENÍ.....	36
5.1 Kalibrace	36
5.2 Nastavení čerpacího systému	39
5.3 Stanovení nepřesnosti měření	40
6. SHRUTÍ.....	43
6.1 Srovnání s jinými výrobky	43
6.2 Ovládání systému	45
7. ZÁVĚR.....	48
8. POUŽITÁ LITERATURA	49
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Venturiho trubice [1]	14
Obr. 2.2 Dallova trubice [1]	14
Obr. 2.3 Princip Pitotovy trubice [1]	15
Obr. 2.4 Oválový průtokoměr s ozubenými koly [1]	16
Obr. 2.5 Tělesový průtokoměr [1]	17
Obr. 2.6 Bubnový průtokoměr [1]	17
Obr. 2.7 Lopatkový průtokoměr [1]	17
Obr. 2.8 Princip ultrazvukového průtoku [1]	18
Obr. 2.9 Princip Dopplerova průtokoměru [1]	19
Obr. 2.10 Četnost jednotlivých požadavků na průtokoměry [14]	20
Obr. 2.11 Používané průtokoměry v praxi [14]	21
Obr. 4.1 Blokové schéma malé čerpací stanice	25
Obr. 4.2 Suchoběžný, lopatkový vodoměr [2]	31
Obr. 4.3 Schéma zapojení optické závory	31
Obr. 4.4 Výsledné zhotovení světelné závory	32
Obr. 4.5 Význam parametrů k rovnici 4.2 [1]	33
Obr. 4.6 ATMEGA16 v pouzdře DIL40	34
Obr. 4.7 Schéma stabilizace napětí z 12V na 5V	35
Obr. 5.1 Čerpací stanice při kalibraci (měření)	39
Obr. 5.2 Graf závislosti počtu ml připadající na jeden impuls pro různé protečené objemy	42
Obr. 6.1 Řada výrobků přečerpávacího zařízení QUICK	44
Obr. 6.2 Systém výdeje nafty Diesel Eco Box II	44
Obr. 6.3 Systém přečerpávání PHM Komfort	45
Obr. 6.4 Rozložení tlačítek a displeje na předním panelu	46
Obr. 6.5 Stavový diagram ovládání systému	47

Seznam tabulek

Tabulka 5.1 Naměřené hodnoty pro objem 1l (voda)	37
Tabulka 5.2 Naměřené hodnoty pro objem 3l (voda)	37
Tabulka 5.3 Naměřené hodnoty pro objem 3l (voda)	38
Tabulka 5.4 Naměřené hodnoty pro objem 1l (teplá voda)	38
Tabulka 5.5 Naměřené hodnoty pro objem 1l (nafta)	40
Tabulka 5.6 Výsledky měření a kalibrace	41
Tabulka 6.1 Srovnání parametrů s jinými výrobky [18],[19],[20]	43

ÚVOD

V následující práci bude cílem provést analýzu dostupných malých čerpacích stanic, následného rozboru používaných metod průtokoměru a osazení jednotlivých částí systému pomocí dostupných součástek.

Z teoretického rozboru používaných metod měření průtokoměru je potřeba vybrat vhodný průtokoměr. Dále pak vybrat ostatní součástí malé čerpací stanice. Jelikož je vybrán průtokoměr pro jiný typ kapaliny, než se kterou se bude pracovat, je nutné zjistit případné problémy s přechodem mezi těmito kapalinami. Po samotné realizaci bylo potřeba provést kalibraci celého systému a nastavit zpracovávací část.

Zpracovávací část obstarává mikrokontroler, který je opatřen obslužným softwarem. K tomu je zapotřebí mít nastudovanou problematiku programování v určitém programovacím jazyce.

1. NORMY PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU

1.1 KATEGORIE MĚŘIDEL [4]

Měřidla se rozdělují do dvou kategorií, *stanovená měřidla* a *pracovní měřidla*. Pokud mluvíme o principu měření, nemusí se tyto dvě kategorie vůbec lišit v použitém způsobu měření nebo zapojení. Ovšem nastává situace, kdy je žádoucí, aby výsledek měření a jeho objektivnost měla garantovanou váhu určitou organizací, například státem. Proto se příslušná měřidla zařazují do *stanovených* měřidel, a díky tomu se mohou tyto měřidla používat jako prostředek k uplatnění sankcí a také být použita k obchodnímu styku (čerpání pohonných hmot na benzínových stanicích, odběr vody atd.). Tyto dva typy měřidel se od sebe vždy liší ve způsobu metrologického zabezpečení.

Narozdíl od správnosti výsledku *pracovních* měřidel, u kterých zabezpečuje jejich uživatel kalibraci, tak u správnosti naměřených výsledků *stanovených* měřidel je zajišťována pravidelným ověřováním, které provádí státem definované metrologické instituce, v našich podmínkách ČMI (Český Metrologický Institut), popřípadě státem autorizovaná metrologická střediska.

1.2 CEJCHOVÁNÍ MĚŘIDEL [4]

Kalibrace je proces týkající se pracovních měřidel, který má za úkol zabezpečit správnost *pracovních* měřidel. Naproti tomu *ověřování* je činnost, zabezpečující správnost měření u *stanovených* měřidel. Postupy při zabezpečení správnosti měření se u kalibrace a ověřování příliš neliší, v obou případech totiž dochází k činnosti stanovení nejistot měřidla v určených bodech měřicího rozsahu, a to zpravidla jeho porovnání s příslušným etalonem. Rozdíl nastává v závěru činnosti. U *kalibrace* mohou být zjištěné nejistoty uvedeny v kalibračním protokolu měřidla a dále sloužit ke korekci výsledku pořízených následným aplikováním měřidla. Naopak u *stanovených* měřidel se tento výsledek nikde neuvádí, jelikož se nepoužívají ke korekci naměřených hodnot, ale je velice důležité, že tyto zjištěné nejistoty nepřekračují maximální povolený limit, a to bez ohledu na jejich rozložení.

1.3 METROLOGIE [28],[4]

Metrologie je obor, který se zabývá mírami pro stanovení velikosti různých technických a fyzikálních veličin a jejich měření. Míry jsou obvykle definovány etalonem (normálem) nebo pomocí jejich odvození z jiných veličin. Na úrovních států se jimi zabývají národní metrologické instituce.

Dle výše uvedených kategorií v kapitole 1.1 je potřeba si před započítáním úkonu rozmyslet, k čemu bude výsledná měřicí soustava sloužit. Pokud se bude jednat o měření informativního charakteru, tudíž půjde o *pracovní* měřidlo, rozhodneme se dle námi známých požadavků pro určitý typ měřidla ze škály dostupných na trhu. Ovšem pokud daná soustavu nebude pouze čistě informativního rázu, ale na základě naměřených hodnot budu vymáhat sankce, popřípadě fakturovat za odběr, je potřeba vybírat ze *stanovených* měřidel. Pokud by žádný z nabízených nevyhovoval mým požadavkům, a došlo k sestrojení vlastního, je potřeba před jeho uvedením do provozu a s označením „stanovené měřidlo“ předat na ČMI k ověření správnosti. Tento postup zajišťuje sbírka zákonů ČR. A to podrobně § 26 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, kde uvádí krom jiného i pro mě důležitý úsek:[5]

„Povinností uživatele je podat do 90 dnů od nabytí účinnosti příslušné právní úpravy požadavek na ověření jím užívaných nově stanovených měřidel k ČMI nebo příslušnému autorizovanému metrologickému středisku. Do ukončení ověřovacího řízení může být měřidlo předběžně používáno.“

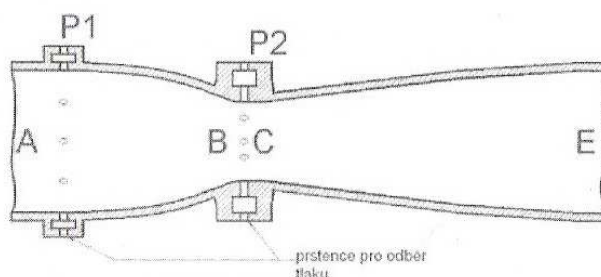
2. PRINCIPY PRŮTOKOMĚRŮ

V následující kapitole jsem uvedl souhrn používaných průtokoměrů dle způsobu jejich měření. Na konci kapitoly je přehled nejpoužívanějších typů průtokoměrů a požadavky kladené v praxi, dle průzkumu uvedeného v [14].

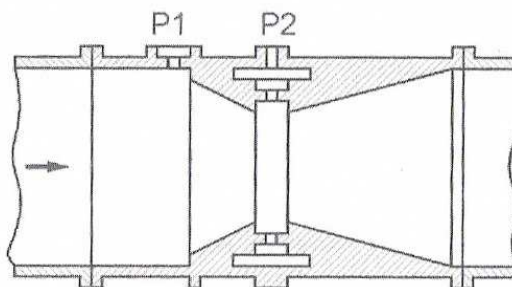
2.1 PRŮŘEZOVÉ PRŮTOKOMĚRY [1],[12]

Uzavřená trubice, kterou protéká měřená kapalina je v některém úseku zúžena (při průtoku média tak v tomto místě dochází ke změnám rychlosti proudění a tlaku, který je závislý na rychlosti proudění) škrťcím členem. Tento způsob měření byl dlouho nejčastěji používanou metodou při velmi širokém rozmezí teplot a tlaků[12]. Mezi zástupce této skupiny počítáme následující:

- Clony
- Venturiho trubice
- Dallova trubice



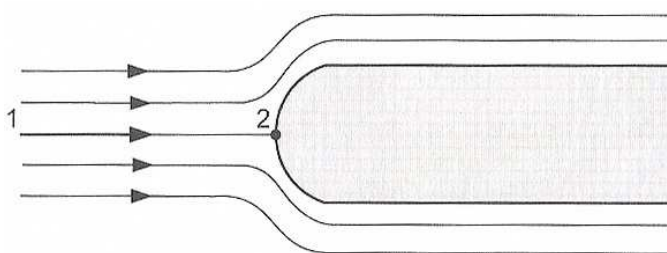
Obr. 2.1 Venturiho trubice [1]



Obr. 2.2 Dallova trubice [1]

2.2 RYCHLOSTNÍ PRŮTOKOMĚRY [1],[15]

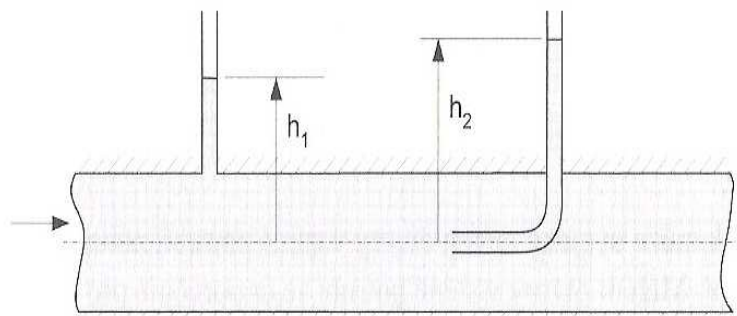
Určují průtok na základě naměřené hodnoty místní nebo průměrné rychlosti proudění profilu výpočtem. Při nárazu proudící tekutiny na tupé těleso, mají proudnice tvar obdobný jako na obr 2.3. Střední proudnice se zastaví na vrcholu překážky, zde je pak rychlost proudění nulová, tekutina neproudí a místo se označuje jako bod stagnace.



Obr. 2.3 Tvar proudění kapalin při nárazu na překážku [1]

Měříme tlak v bodě 1. a 2. vyznačené na obrázku 2.3. K určení rychlosti proudění v je tedy nutné znát hodnotu totálního tlaku v bodě 2 a statického tlaku v bodě 1. Mezi rychlostní průtokoměry patří například:

- Pitotova trubice
- Prandltova trubice

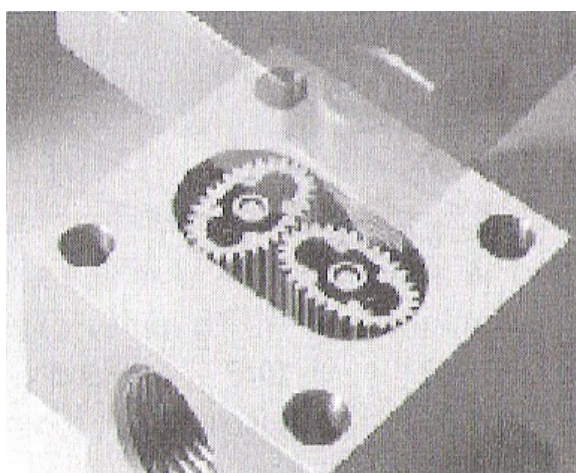


Obr. 2.3 Princip Pitotovy trubice [1]

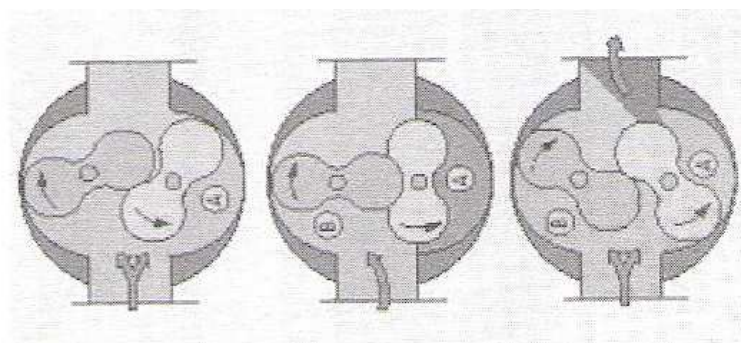
2.3 OBJEMOVÉ (HMOTNOSTNÍ) PRŮTOKOMĚRY[1],[8]

Objemové průtokoměry jsou založeny na přímém měření objemu nebo hmotnosti tekutiny. Mluvíme tedy o objemovém, respektive hmotnostním průtoku. Zatímco objemový průtok udává objem tekutiny prošlé potrubím za jednotku času (např. l/min), tak u hmotnostního mluvíme o hmotnosti tekutiny prošlé potrubím za jednotku času (např. kg/min). Jde o metody s velmi vysokou třídou přesnosti. Měření může probíhat spojitě nebo diskrétně. Charakterizovány jsou rozdělením tekutin na dílčí objemy vytvářené rotujícími mechanickými prvky měřidla. V posledních letech se tato metoda nejvíce rozšiřuje v průmyslové praxi a jejich podíl na trhu roste nejrychleji ze všech metod měření průtoku. A to především u hmotnostních průtokoměrů využívající principu Coriolisovy síly. Mezi zástupce patří například:

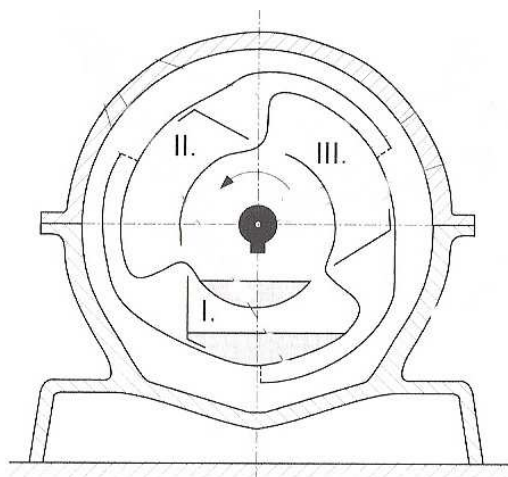
- Oválový průtokoměr
- Tělesový průtokoměr
- Bubnový průtokoměr
- Průtokoměr s rotujícími lopatkami
- Coriolisovy hmotnostní průtokoměry



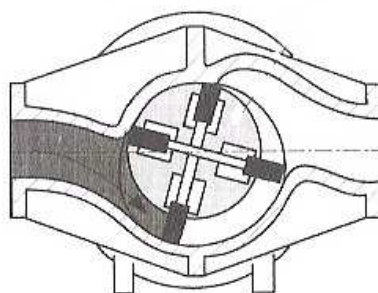
Obr. 2.4 Oválový průtokoměr s ozubenými koly [1]



Obr. 2.5 Tělesový průtokoměr [1]



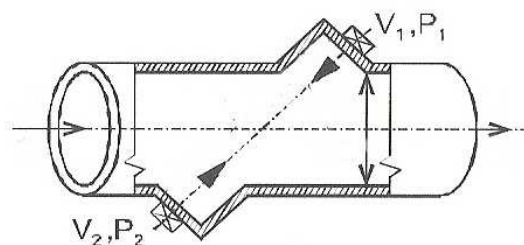
Obr. 2.6 Bubnový průtokoměr [1]



Obr. 2.7 Lopatkový průtokoměr [1]

2.4 ULTRAZVUKOVÉ SENZORY PRŮTOKU [1],[15]

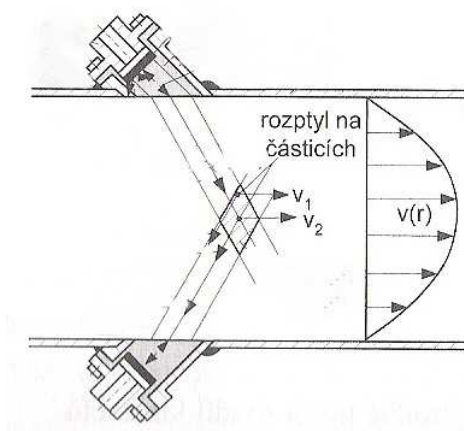
U těchto senzorů se využívá změny rychlosti šíření nebo frekvence ultrazvukového vlnění proudem kapaliny (obrázek 2.8). Systém je osazen generátorem signálu (V_1, V_2) a přijímačem tohoto signálu (P_1, P_2). Senzory mohou být využity při měření agresivních a výbušných kapalin, neboť se jedná o měření bezdotykové. Nutno podotknout, že této metody se používá výhradně u měření průtoku tekutin ve velkých potrubích, a je nutné, aby před snímači byly přímé úseky potrubí.



Obr. 2.8 Princip ultrazvukového průtoku [1]

Pro dosažení co největší přesnosti se využívá tzv. diferenciálního zapojení, tedy že na obou stranách je umístěn jak generátor, tak i senzor. Podle uspořádání se ultrazvukové průtokoměry dělí do tří skupin:

- Přímé impulsní
- Zpětnovazební
- Dopplerovy



Obr. 2.9 Princip Dopplerova průtokoměru [1]

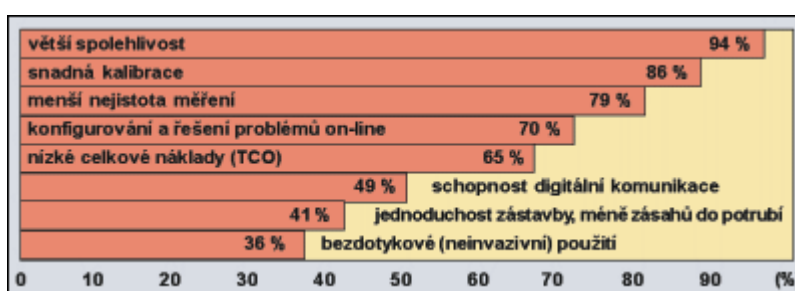
2.5 INDUKČNÍ SENZORY PRŮTOKU [1],[15]

Indukční průtokoměry fungují na principu Faradayova zákona elektromagnetické indukce. Základem činnosti je vznik napětí na elektrodách při pohybu vodivé tekutiny v magnetickém poli. Velkou výhodou těchto senzorů je možnost pracovat v libovolné poloze a měření při obou směrech proudění. Název dle principu měření vystihuje více elektromagnetický průtokoměr, avšak dle normy ČSN EN 24006 je doporučeno ho označovat za indukční průtokoměr. Základní rozdíly mezi jednotlivými indukčními průtokoměry jsou především v provedení měřicí trubice jako primárního členu. Průtokoměry lze rozdělit do základních skupin:

- Průtokové (s vodivou měřicí trubicí, nevodivou měřicí trubicí, se zaplněným potrubím, s nezaplněným potrubím)
- Ponorné
- Zásuvné
- Bodové
- Plošné

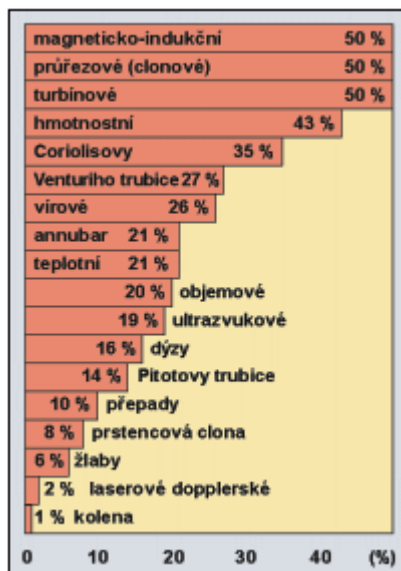
2.6 PRŮTOKOMĚRY V PRAXI [14]

Ať se jedná o jakýkoliv výrobek, vždy jsou na něj kladeny určité požadavky, které by měl splňovat. Každý udaný požadavek má svou váhu. Na obrázku 2.10 je vidět srovnání, jaké důležité parametry uživatelé kladou na průtokoměry a zároveň i četnost jednotlivých požadavků u uživatelů.



Obr. 2.10 Četnost jednotlivých požadavků na průtokoměry [14]

Tyto požadavky by se měli teoreticky ztotožňovat s použitými průtokoměry, tedy vrchní pozice nejvíce používaných průtokoměry by měla splňovat co nejvíce požadavků z obrázku 2.10, a to především ty z největší procentuální hodnotou. Jak je vidět na obrázku 2.11, uživatelé uvedli, že nejvíce preferují magneticko-indukční, průřezové, turbínové, hmotnostní a ještě více jak třetinu zaujímají Coriolisovy průtokoměry. Nutno podotknout, že každý uživatel odpovídal na použití průtokoměru ze všech uvedených. Dále bych ještě uvedl, že tento průzkum byl proveden v roce 2001, ale ztotožňoval se s průzkumem z let předchozích. I přesto tento souhrn uvádím čistě jako informativní přibližnou formu, která se dle mého názoru nebude příliš lišit od reality. Bohužel se mi nepodařilo obstarat novější data, a potvrdit tak moji domněnku.



Obr. 2.11 Používané průtokoměry v praxi [14]

Když budu vycházet z předešlého průzkumu, uvedl bych zde některé zástupce z nejvíce používaných průtokoměrů i s výrobcí.

Pro magneticko-indukční průtokoměry zmíním brněnskou firmu FLOMAG a jejich výrobek FLOMAG3000, který je možno přizpůsobit potřebnému zapojení (přírubové, závitové atd.), specifické jmenovité světlosti (DN10-DN1200) a dalším požadavkům jako je tlak, použitá kapalina atd. [9]

Dalším výrobcem průřezových (clonových) průtokoměrů je například firma Siemens, sídlící mimo jiné i v Brně, a její výrobky s označením SITRANS F O, jenž se dají specifikovat jako zařízení pro měření diferenčního tlaku.[10]

Další brněnská firma s názvem BADGET METER produkuje turbínové průtokoměry s firemním označením TP, VISION nebo PWP. Jednotlivé typy se liší podle specifikace použití, která se dá zjistit z katalogových listů produktů dostupných na webových stránkách firmy[11].

Výše uvedení výrobci byli uvedeni jen pro úplnost, samozřejmě, například firma SIEMENS vyrábí i průtokoměry využívající stejné metody měření jako ostatní

výše zmiňované firmy, a naopak. Tento přehled jsem napsal, aby bylo zřejmé, že například jen v Brně je dostatečná konkurence v této oblasti a velké možnosti k pořízení daného průtokoměru dle stanovaných požadavků.

Výběr průtokoměru je velice složitý a není vhodné ho podceňovat. Na začátku je potřeba si určit parametry, které musí splňovat. K dalšímu rozhodování podle těchto parametrů by mohla posloužit přehledná tabulka v příloze č.1. Je v ní výpis používaných metod měření průtoku včetně typu průtokoměru, přesně specifikace snímače a charakteristiky principu měření. Dozvíme se z ní také jaká je forma výstupu signálu, tlakovou ztrátu, přesnost, rozsah průtoků a nakonec také běžné použití daného typu průtokoměru.

3. ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Při výběru průtokoměru se budu snažit dosáhnout impulsového digitálního výstupu odpovídající otáčkám průtokoměru. Tento signál je dále potřeba zpracovávat a přenést tyto získané informace do podoby, se kterými bude moci pracovat obsluha měřicího systému. Jako nejvhodnější možnost zpracování signálu z průtokoměru považuji použití mikroprocesoru. Následně uvedu parametry a funkce, které očekávám od použitého zařízení a tím i ozřejmím, proč jsem si vybral právě mikroprocesor.

V první řadě se jedná o zpracování signálu. Použití mikroprocesoru sebou přináší další možnosti, a to například rozmanitost fungování celého systému. Je tím myšleno například odebrat jen předem dané množství kapaliny, zjištění protečeného množství za určitý definovaný čas a další funkce. S těmito požadavky se jednoznačně pojí i požadavek tyto funkce ovládat, tedy ovládací prvky (tlačítka) a v poslední řadě je potřebné vidět co momentálně dělám, z čehož vyplývá, že je potřeba použít zobrazovacího zařízení.

3.1 MIKROPROCESOR

Každý mikroprocesor nebo mikrokontroler obsahuje Vstupně/Výstupní porty pro komunikaci s okolím. Díky těmto portům postupně splníme všechny požadavky. Pro zpracování signálu mohu použít jeden ze vstupů mikroprocesoru, a v programu sledovat jeho změny. Ale mám i jinou možnost, a to použití tzv. čítače. Tento prvek mi usnadní práci, jelikož jeho možnosti umožní sledovat změny logických úrovní signálu pomocí zabudovaného hardwaru. Princip je takový, že když nastane změna logické úrovně, vyvolá se tzv. přerušení (v podstatě jde o pozastavení běhu vykonávaného programu a vykonání definovaných instrukcí při příchodu daného přerušení, a po jeho vykonání návrat k předešlému vykonávání programu). Taková kontrola je jednodušší, než softwarová. V přerušení mohu tedy například inkrementovat proměnou, která bude představovat protečené množství.

3.2 OVLÁDACÍ PRVKY

Jak už bylo řečeno, mikroprocesor obsahuje vstupně/výstupní porty. Tyto porty využijí k připojení ovládacích tlačítek, pomocí kterých budu ovládat měřicí soustavu (spouštění a zastavení průtoku/měření, nastavování hodnot atd.). Vstupně výstupních portů je na každém mikroprocesoru omezené množství, proto je potřeba dle požadavků si rozmyslet jaký typ mikroprocesoru použít s vhodným počtem V/V portů.

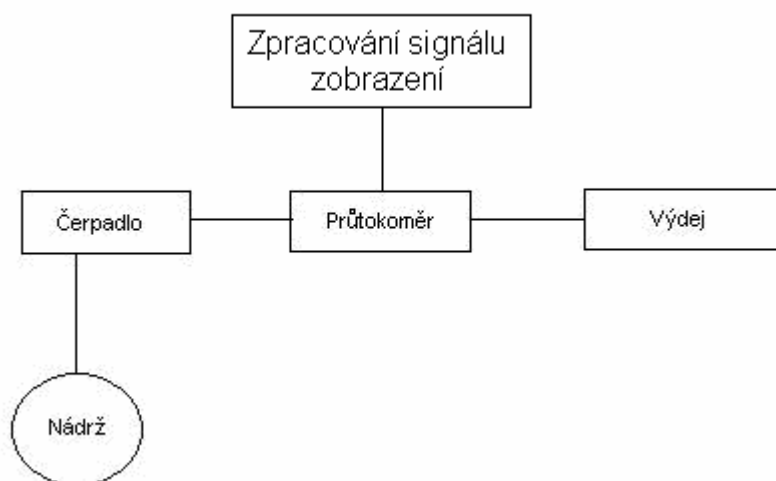
3.3 ZOBRAZOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Pro zobrazení aktuálních událostí, a hlavně informací o protečeném množství je potřeba použít zobrazovací zařízení. Pro tyto účely se naskytuje možnost použití displeje. Jeho variant je několik, například plně grafický, řádkový atd. Pro účely měřicího systému postačí displej řádkový.

4. REALIZACE

V této kapitole budu aplikovat výše uvedené teoretické poznatky na samotnou realizaci. Úspěšným cílem bude vytvoření systému „Malé čerpací stanice“ (dále jen stanice) dosahujících parametrů, které se co nejvíce přibližují parametrům stanicím dostupných na trhu.

Bude potřeba tedy navrhnout jednotlivé části stanice dle blokového schématu z obrázku 4.1 s ohledem na jejich parametry.



Obr. 4.1 Blokové schéma malé čerpací stanice

4.1 ZÁSObNÍK KAPALINY

Samozřejmě kapalina bude uložena v dané nádrži, o určitém objemu. Otázkou je, zda kapalina bude k průtokoměru dodávána pomocí externího čerpadla uloženého někde mimo můj systém, popřípadě bude potřeba použít čerpadlo přímo umístěné v moji stanici. Systém jsem na tomto základě rozdělil do dvou typů:

- Systém s externím čerpadlem
- Systém s interním čerpadlem

U systému s externím čerpadlem se jedná o odebírání kapaliny z potrubí, či výdejního místa, kde se nachází tlak a po umožnění průchodu kapaliny (otevření ventilu) samovolně protéká přes náš systém. Tlak je realizován například čerpadlem v potrubí či jiným zařízením, jenž však pro mě není rozhodující. Důležité bude pouze maximální provozní tlak těchto kapalin a maximální rychlost proudění. V tomto případě mi odpadá práce s realizováním čerpadla, které by čerpalo měřenou kapalinu. Na druhou stranu si musí dávat pozor, aby maximální hodnoty tlaku a rychlosti kapaliny v potrubí nepřesáhly hodnoty určené pro součásti použité v mém systému, jelikož by mohlo dojít k poškození, popřípadě k nežádoucím nepřesnostem měření. Nepřesnost ovšem může vzniknout i při dosáhnutí minimálního tlaku či rychlosti kapaliny, které budou pod mezní hodnotu použitého průtokoměru. Vše se odvíjí od typu průtokoměru, a proto musím vědět jak maximální tak i minimální hodnoty.

U Systému s interním čerpadlem již bude potřeba realizovat čerpadlo, které bude odebírat jednotlivé dávky kapaliny z předem připravených odběrných míst, například z nádrží, jak nadzemních, tak podzemních (dále jen zásobník). Tyto zásobníky mohou být pod určitým tlakem, popřípadě kapalina z nich bude vytékat určitou rychlostí, ale tyto hodnoty jsou tak minimální, že jsou doslova nedostačující pro moje použití, a je potřeba použití čerpadla. Tento systém zapojení přinese velké možnosti, a to především v jeho variabilitě použití. Celý systém bude moci být použit na jakýkoliv typ zásobníků, které nejsou pod tlakem a rychlost výtoku kapalin je nulová, popřípadě tlak i rychlost je minimální. Výběr průtokoměru je pouze na mě, jelikož tlak a rychlost proudění kapalin si budu sám určovat dle použitého čerpadla. Tím je vyřešeno vše až na výdej.

Dle zadání práce, a co největšího možného využití se budu zabývat druhým způsobem zapojení. Samozřejmě by nebyl problém odpojit navržené čerpadlo a připojit do systému prvního typu, ale jak bylo řečeno, musí se dát pozor na provozní tlaky a rychlosti proudění kapalin v tomto systému.

4.2 PODMÍNKY REALIZACE

Pro realizaci průtokoměru musím znát jednotlivé parametry pro mě rozhodující, a ty jsou:

- Druh kapaliny (hustota, el. vodivost, agresivita, čistota...)
- Provozní tlak
- Rychlost průtoku kapaliny
- Přítomnost napájení, popřípadě jeho velikost
- Okolní podmínky (teplota, vlhkost ...)

4.2.1 Druh kapaliny

Můj systém stanice bude použit na malých statcích, v autoservisech, domácnostech atd. Bude sloužit k přečerpávání nafty, popřípadě benzínu. Po pozdějším zkoumání zjistíme, jestli bude možno soupravu realizovat pro všechny tyto kapaliny.

▪ *Motorová nafta [16]*

Je kapalně palivo tvořené směsí těžko odpařitelných uhlovodíků a dalších přídatných látek. Hustota nafty měřená při teplotě 20°C v závislosti na jejím složení bývá v rozmezí 800 - 840 kg.m⁻³. Viskozita při teplotě 40°C se pohybuje v rozsahu 2-4.5 mm²s⁻¹. K naftě se mohou v malém množství přidávat látky, tzv. aditiva, které zlepšují její vlastnost, například tekutost (letní, zimní, přechodová nafta), nebo aditiva jako katalyzátory hoření. Ovšem myslím si, že ty ve velké míře neovlivní pro mě důležité parametry.

▪ *Benzín [16],[17]*

Jedná se o kapalnou směs uhlovodíků (zejména alkanů, cykloalkanů, aromatických uhlovodíků atd.). Hustota látky je při teplotě 20°C přibližně

$725 - 775 \text{ kg.m}^{-3}$ a jeho viskozita při teplotě 40°C je přibližně $5,3 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}^{-2}\text{s}$.

Mohou obsahovat přísady zvyšující užité vlastnosti.

4.2.2 Provozní tlak

Každá součást systému musí být přizpůsobena provoznímu tlaku. Jedná se jak o spoje tak o samotné zařízení. Tlak bude do systému dodávat čerpadlo, které bude také udávat i průtok kapaliny systémem. V našem případě se nebude jednat o velké provozní tlaky, takže bude použito standardních spojovacích materiálů.

4.2.3 Rychlost průtoku kapalin

Jak už bylo uvedeno v kapitole 4.1, o velikost a rychlost průtoku se postará čerpadlo. Dle jednoduché úvahy použití stanice, čili menší až střední náročnost, lze spočítat požadovaný průtok. Vezmeme v potaz malé hospodářství, kde se nachází pracovní stroje (malotraktor, traktor, malý kombajn atd.). Objem nádrže u takovýchto typů pracovních strojů se pohybuje od 40l – 80l podle stáří, typu. Větší stroje, jako například kombajn, jsou osazeny palivovými nádržemi o obsahu i 800 litrů. Při uvažování maximální udané hodnoty, čili 800 litrů, tak přečerpat takové množství za rozumnou dobu, dle mého uvážení 10 minut, bude záviset jen na velikosti průtoku. Z uvedených hodnot času a objemu paliva vyplývá, že rychlost průtoku musí být 80 l/min. Takového průtoku není těžké dosáhnout, ovšem s ohledem na naše požadavky (malé čerpací stanice) bych snížil náročnost této hodnoty na velikost 10 – 20 l/min. Půjde tu hlavně o úsporu financí při výběru čerpadla, ale je také si třeba uvědomit, že odběr 800 litrů do jednoho pracovního stroje nespadá do kategorie malých, ale spíše do oblasti větších čerpacích stanic. Při použití strojů s průměrným objemem nádrže (okolo 50 litrů) se docílí jejího plného naplnění v době 3-5 minut, což je dle mého názoru dostačující. Z tohoto rozboru tedy plyne, že rychlost průtoku kapaliny by se měla pohybovat v rozmezí 10 – 20 l/min, což bude upřesněno podle použitého čerpadla.

4.2.4 Přítomnost napájení, popřípadě jeho velikost

U prvního systému v kapitole 4.1, kdy je požadovaná látka dodávána externím způsobem, by bylo možné vyhnout se při určitém typu průtokoměru

přítomnosti napájecího napětí. Ovšem v našem případě, kdy je potřeba dodávat energii čerpadlu, je zapotřebí použít napájení (použití ručního čerpadla jsem neuvažoval, jelikož chceme mít stanice co nejvíce automatizovanou a vynaložit co nejmenšího pracovního nasazení při samotném čerpání). Aby zařízení bylo co nejvíce variabilní, navrhuji systém sestavit na napájecí napětí 12 V stejnosměrně. Tímto napětím bývají vybaveny totiž některé pracovní stroje, popřípadě osobní automobily. Pro ještě větší použití může být navrhnout měnič napětí z 230V/50Hz na mnou požadovaného stejnosměrného napětí 12V.

4.2.5 Okolní podmínky (teplota, vlhkost ...)

Je jasné, že tankovat se bude pravděpodobně jak v zimě, tak v létě. Předpokládaná teplota provozu může klesnout pod 0°C, pravděpodobně neklesne pod -10°C. Maximální teplota v létě dosáhne 30°C, ovšem může nastat i vystavení slunečním paprskům a v takovém případě se teplota může zvýšit. Bude se pracovat v podmínkách, kde vlhkost vzduchu, prach a jiné okolní podmínky se nebudou ve velké míře lišit od průměrných hodnot.

4.3 ČERPADLO

Tuto součást jsem realizoval pomocí klasického ponorného čerpadla použitého u palivové nádrže osobního automobilu. Jeho provozní napětí je v rozmezí přibližně 9-24V. S vyšším napětím se zvyšovala rychlost průtoku. Bohužel se nepodařilo sehnat provozní data k tomuto čerpadlu, jediné co je známé, je typ vozu, ze kterého bylo čerpadlo použito (Ford Sierra). Proto se musela potřebná data změřit. Šlo hlavně o rychlost průtoku. Měření proběhlo několik, a z následných dat byla vypočtena rychlost průtoku pro hodnotu napětí 12V o velikosti 3,5l/min. Pokud by se systém řešil s napájením o velikosti větší než 12V, např. 230V/50 Hz střídavé, a následně pomocí potřebné přeměny napětí na stejnosměrnou složku, mohl by se systém měření napájet pomocí 12V a čerpadlo pak 24V. Došlo by poté ke zvětšení velikosti průtoku. Jak už bylo řečeno, systém nebude pracovat v extrémních podmínkách, teploty se kterými se čerpadlo dostane do kontaktu budou stejné, které

na něj působí při použití v osobním automobilu. Proto jsem si jej vybral také jako nejlepší řešení.

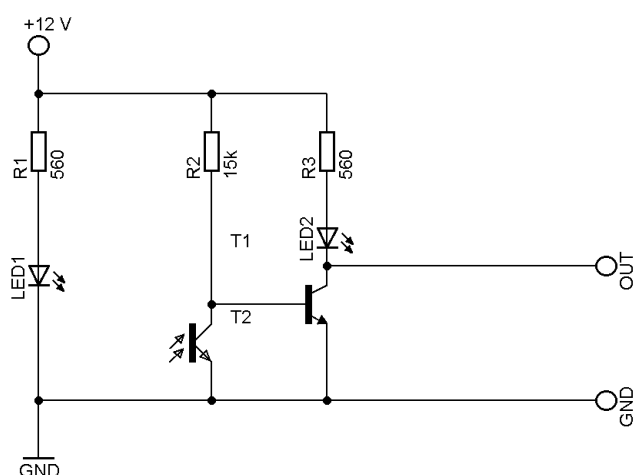
4.4 PRŮTOKOMĚR

Při realizace průtokoměru je největší požadavek na to, aby byl odolný vůči agresivitě mnou požadovaných látek (motorové nafty, popřípadě benzín), jelikož s nimi bude téměř v neustálém kontaktu. Pro mě nejjednodušší možnost shledávám v lopatkovém průtokoměru. Bylo by samozřejmě možné použít například bezdotykových, ale pro jejich cenovou náročnost, druhu použití a složitější zapojení jsem od nich ustoupil. Navíc použití lopatkového průtokoměru sebou nese další výhodu a to jeho obrovské použití, a to v klasickém domovním vodoměru. Vodoměr většinou patří do skupiny *stanovená měřidla*, jelikož se na jejich základě fakturuje dodávka vody ke spotřebiteli. Nabízí se velké možnosti provedení vodoměrů. Jedno z jejich základních rozdělení je však jasně dané na dva typy. A to suchoběžné a mokroběžné, tedy soustrojí pro měření průtoku je umístěno mimo samotný průtok, a v druhém případě je soustrojí umístěno ve styku s měřenou kapalinou. Jelikož budeme místo vody pracovat s agresivními látkami, použijeme suchoběžný vodoměr. Takže vyberu model, který bude vyhovovat podmínkám. Bude stačit obyčejný, lopatkový vodoměr, jak bylo řečeno suchoběžný (při měření bude použito výbušných kapalin a u tohoto typu je výhodou uložení měřicí části odděleně od vyhodnocovací), který je zobrazen na obrázku 4.2. Převod ze soustrojí je proveden pomocí magnetické síly, kdy měřicí část je opatřena rotujícím magnetem a v samostatném vyhodnocovacím ústrojí je pak protilehle položený magnet spojen s ozubeným kolem usazen v ose otáčení. Pomocí dalších ozubených kol je udělán převod na výsledné mechanické počítadlo, které měří samotný průtok v uvedených jednotkách.

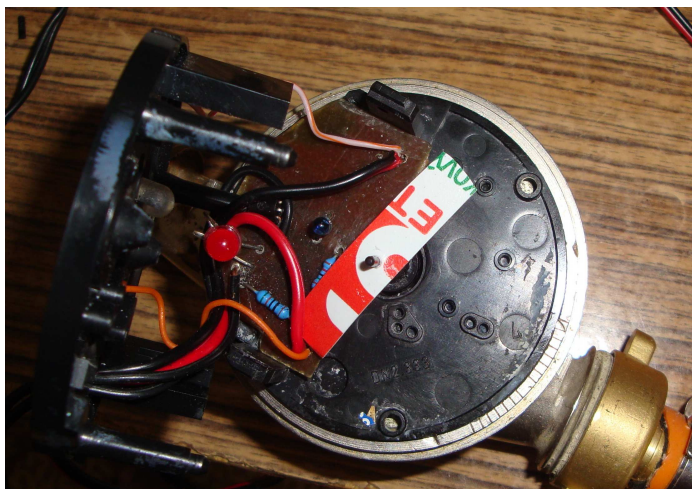


Obr. 4.2 Suchoběžný, lopatkový vodoměr [2]

Tuhle konečnou fázi zobrazování jsem musel ovšem upravit tak aby mi lépe vyhovovala (převod analogového signálu na digitální). Šlo o vytvoření takového systému, který bude počítat jednotlivé otáčky a díky definovanému převodu i následný objem v litrech. Použil jsem princip optické závory. Schéma takového systému je na obrázku 4.3 Tvar plošného spoje byl vytvořen tak, aby co nejlépe padl do kostry počítadla vodoměru. Výsledné řešení je vidět na obrázku 4.4.



Obr. 4.3 Schéma zapojení optické závory



Obr. 4.4 Výsledné zhotovení světelné závery

4.4.1 Použití různých kapalin

Je zřejmé, že vodoměr je typ lopatkového průtokoměru u kterého se předpokládá měření průtoku vody. Budeme vycházet z následujícího obecného vztahu pro výpočet frekvence otáček lopatkového průtokoměru [13].

$$f = k \cdot Q_v - s \quad (4.1)$$

kde k je součinitel měřidla (stanovený při kalibraci)[-], s je skluz [-], f je frekvence otáček [Hz] a Q_v je objemový průtok. [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Skluz je přímo úměrný zatěžovacímu momentu otočné části, tj. rotoru, a je ovlivňován okamžitou hodnotou průtoku. Pokud budu uvažovat laminární proudění, což je často u těchto typů průtokoměrů požadováno [13], budu moci použít vztah pro výpočet objemového průtoku dle Poiseuilleova zákona [] :

$$Q_v = \frac{\pi \cdot (2r)^4}{128 \cdot \mu \cdot L} \cdot \Delta p \quad (4.2)$$

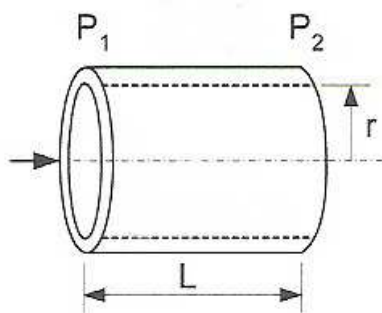
Kde Q_v je objemový průtok. [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], D je vnitřní průměr potrubí [m], μ viskozita tekutiny [$\text{Ns} \cdot \text{m}^{-2}$], l je délka trubice mezi otvory [m] a Δp je rozdíl tlaků [Pa].

Pokud z rovnice 4.2 vyloučíme parametry, které budou shodné při použití různých druhů kapalin, dostaneme vzorec:

$$Q_v = \frac{1}{\mu} \cdot K \quad (4.3)$$

$$\text{Kde} \quad K = \frac{\pi \cdot (2r)^4}{128 \cdot L} \cdot \Delta p \quad (4.4)$$

Jak je vidět ve vzorci 4.3, rychlost průtoku při různých kapalinách je závislá na viskozitě použité kapaliny. Jak se bude lišit frekvence při použití jiné kapaliny záleží od toho, jak velký rozdíl bude mezi viskozitou vody a viskozitou dané látky.



Obr. 4.5 Význam parametrů k rovnici 4.2 [1]

4.5 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Pro mé účely jsem vybral mikrokontroler ATMega16 od firmy ATMEL. Je uložen v pouzdře DIL40 (obrázek 4.6), jeho pracovní napětí je 5V, obsahuje čtyři Vstupně/Výstupní porty, každý 8bitový, tedy dohromady 32 Vstupů/výstupů. Dále obsahuje 3 čítače/časovače, vnitřním oscilátor, umožňuje komunikaci přes sériový kanál a obsahuje například Analogově/Digitální převodník. Disponuje možností tzv. ISP (In-System programming), což znamená programovat (uložení programu do paměti) přímo v aplikaci a není potřeba jeho vyjmutí z obvodu. Jeho specifikace je samozřejmě rozsáhlejší, ale většina z těchto parametrů mi postačí ke splnění mnou zadaných požadavků na systém zpracování signálu.



Obr. 4.6 ATMEGA16 v pouzdře DIL40

Všechna nastavení týkající se funkcí jednotlivých vývodů se nastavují pomocí daných registrů, adresy a hodnoty těchto registrů se liší a je potřeba si je pro každý typ mikroprocesoru zjistit, proto pro stručnost napíšu jen název registru a funkci kterou jím nastavuji.

Výstupní signál z průtokoměru je přiveden na zdroj přerušení (INT1), a povolení přerušení z tohoto zdroje provedeme v registru GICR. Požadavek je, aby sledoval změnu logické úrovně vstupního signálu, jenž se docílí nastavením registru MCUCR. Dále je potřeba povolit celkově přerušení pomocí funkce sei().

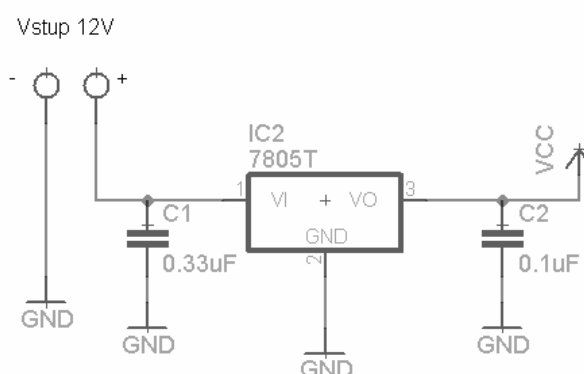
Počet ovládacích tlačítek jsem se rozhodl stanovit na čtyři. Dle mého uvážení budou dostačující, dvě zajistí inkrementaci a dekrementaci (hodnot průtoku, pohyb v menu), jedno zajistí potvrzení požadavku a druhé jeho stornování. Tlačítka jsou zapojena na port B, způsobem, který je vyobrazen ve schématu (příloha 2) .

Na portu A je připojen displej. Vybral jsem dvou-řádkový displej s počtem šestnácti znaků na řádek. Většina řádkových displejů dnes používá ke komunikaci řadič HD44780 popřípadě jeho obdobu. Tak je tomu i u mnou použitého displeje MC1602E-SBL/H. Tento řadič je přizpůsoben k použití i u jiných typů displejů (různý počet řádků i znaků na řádek) a proto je potřeba provést jeho inicializaci, kde nastavím počet řádků, blikání a posouvání kurzoru ale také komunikaci, a to buď 4-bitová, nebo 8-bitová. Zvolil jsem 8-bitovou, která sice používá pro připojení více výstupů, ale komunikace je jednodušší, data odchází najednou, oproti 4-bitové komunikaci, kde data jsou odesílána dvakrát (nejdříve horní 4bity, poté dolní 4bity). Tento algoritmus pro inicializování displeje, včetně zdrojového kódu byl převzat

z laboratorních cvičení k předmětu Mikroprocesorová technika, ústavu Radioelektroniky, FEKT VUT BRNO, jenž je úpravou zdrojového kódu provedenou Tomášem Frýzou, vycházející ze všeobecné originální verze, jejíž autorem je Petr Flerey[29]. Displej kromě osmi datových vodičů obsahuje další Vstupy/výstupy a to s označením „E“ (povolení zápisu), „R/W“ (nastavení čtení z displeje/zápis do displeje) a „RS“, který udává informaci, zda příchozí informace má charakter instrukcí nebo dat. Samozřejmě obsahuje i vývody pro připojení napájení, ovládání jasu displeje, a osvětlení displeje. Zapojení i s uvedenými vývody je vidět v příloze 2.

4.6 REALIZACE ZAPOJENÍ

Jak displej, tak mikrokontroler je napájen pomocí 5V a jelikož musí být přivedeno napětí 12V k optické závoře, bude nejlepší řešení toto napájení stabilizovat na velikost 5V. Schéma zapojení stabilizace napětí je na obrázku 4.7.



Obr. 4.7 Schéma stabilizace napětí z 12V na 5V

5. MĚŘENÍ

Jelikož vypočítat objem odpovídající jednomu impulzu by bylo velice náročné rozhodl jsem se provést sérii měření, ze kterého jsem následně vypočítal objem odpovídající jednomu impulsu.

Dále musím uvažovat o originálním použití vodoměru, tedy měření průtoku vody, a zjistit, zda se parametry nebudou příliš lišit při mnou použitých kapalinách. Pokud ano, musím tuto skutečnost uvést a dále používat tyto neměřené hodnoty. Z toho vyplývá, že měření musím provést jak z hlediska zjištění objemu na jednotkový impuls, tak provést srovnávací měření jednotlivých kapalin.

5.1 KALIBRACE

Kalibraci provedu změřením známého množství kapaliny přes průtokoměr a porovnáním se změřenou hodnotou. Naměřená hodnota bude počet otáček (pulsů) vykonaný průtokoměrem. Ke zjištění této hodnoty jsem se rozhodl využít uvedeného mikroprocesoru, u něhož jsem provedl softwarové upravení, kde na displej se zobrazoval aktuální počet impulsů vstupujících na vstup INT1. Start a stop počítání jsem ošetřil stisknutím tlačítka.

Měření probíhalo do odměrné nádoby, která byla označeno ryskou pro požadovanou hodnotu. Kalibrace byla prováděna pro několik objemů, za kapalinu byla použita voda, jelikož manipulaci s pohonnými látkami jako je nafta nebo benzín považuji za rizikové. Jak je zřejmé z výsledku v kapitole 4.4.1, tak naměřená hodnota lopatkovým průtokoměrem se odvíjí na viskozitě látky, a proto výsledky naměřené pro různé objemy, popřípadě různé rychlosti průtoku při použití vody lze odvodit i pro měření s jinou kapalinou.

První měření probíhalo pro 1l vody, které se opakovalo 12x, kde největší a nejmenší hodnotu jsem odstranil. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.1. Z naměřených hodnot jsem vypočítal objem v ml připadající na jeden impuls průtokoměru a průměry z těchto dvou hodnot. Vše v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1 Naměřené hodnoty pro objem 1l (voda)

č.měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	průměr
počet pulsů	55	54	54	55	54	55	55	54	55	54	54,5
ml/impuls	18,2	18,5	18,5	18,2	18,5	18,2	18,2	18,5	18,2	18,5	18,4

Počítané hodnoty jsou napsány tučným písmem v tabulce. Příklady výpočtů:

$$ml / impuls = \frac{objem[ml]}{pocet_pulsu} \quad [ml/imp] \quad (5.1)$$

Příklad pro první měření: $ml / impuls = \frac{1000}{55} = \underline{\underline{18,2}} \text{ ml/imp}$

$$prumer = \frac{\sum pocet_pulsu}{pocet_mereni} \quad [-] \quad (5.2)$$

Příklad pro počet pulsů:

$$prumer = \frac{55 + 54 + 54 + 55 + 54 + 55 + 55 + 54 + 55 + 54}{10} = 54,5$$

Stejná měření byla provedena pro objemy 3l (tabulka 5.2) a 5l (tabulka 5.3). Výpočty se shodují s tabulkou 5.1, navíc jsem u těchto dvou dopočítal hodnotu počtu pulsů na jeden litr dle vztahu :

$$pocet_pulsu / l = \frac{pocet_pulsu}{celkovy_proteeny_objem} \quad [imp/l] \quad (5.3)$$

Tabulka 5.2 Naměřené hodnoty pro objem 3l (voda)

č.měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	průměr
počet pulsů	162	160	159	163	165	160	158	160	158	160	160,50
počet pulsů/1l	54	53,33	53	54,33	55	53,33	52,67	53,33	52,67	53,33	53,50
ml/impuls	18,52	18,75	18,87	18,40	18,18	18,75	18,99	18,75	18,99	18,75	18,69

Tabulka 5.3 Naměřené hodnoty pro objem 3l (voda)

č.měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	průměr
počet pulsů	252	256	258	250	256	258	255	254	253	255	254,70
počet pulsů/1l	50,4	51,2	51,6	50	51,2	51,6	51	50,8	50,6	51	50,94
ml/impuls	19,84	19,53	19,38	20,00	19,53	19,38	19,61	19,69	19,76	19,61	19,63

Teplota vody se při měření přibližovala teplotě ve vodovodním potrubí (okolo 15 °C). Chtěl jsem si ověřit, zda naměřené hodnoty průtokoměrem nebudou ovlivněny teplotou měřené kapaliny. Provedl jsem proto ještě jedno měření za stejných podmínek, ovšem teplota vody byla vyšší, přibližně se rovnala teplotě teplé vody ve vodovodním potrubí (okolo 60 °C). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.4, díky které se potvrdil vztah 4.3, kde bylo ukázáno, že frekvence otáček lopatkového průtokoměru není závislá na teplotě kapaliny.

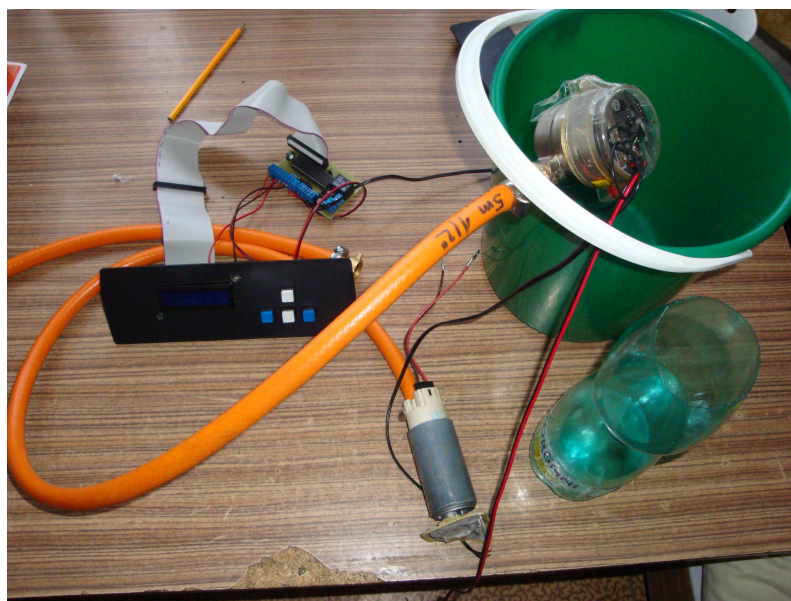
Toto měření bylo provedeno až na samém konci, mezitím proběhlo měření, které bude uvedeno níže (tabulka 5.5), ovšem při tomto měření došlo k poruše čerpadla, které bylo z neznámých důvodů nenávratně zničeno, a proto na poslední měření uvedené v tabulce 5.4 bylo místo čerpadla použito přímé připojení průtokoměru na vodovodní kohoutek teplé vody, z čehož vyplývá, že se změnila i rychlost průtoku. Jak je vidět z tabulky 5.4 tak oproti tabulce 5.1 kdy bylo použito ještě čerpadla nedošlo k výrazným změnám naměřených hodnot. Tenhle závěr vyplývá i z originálního použití vodoměru, kdy v domácnosti nedochází vždy ke stejné rychlosti odběru vody (rychlosti průtoku).

Tabulka 5.4 Naměřené hodnoty pro objem 1l (teplá voda)

č.měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	průměr
počet pulsů	54	54	54	55	55	54	55	55	55	54	54,50
ml/impuls	18,50	18,50	18,50	18,20	18,20	18,50	18,20	18,20	18,20	18,50	18,35

Kalibrace (měření) je vidět na obrázku 5.1 i s jednotlivými použitými odměrnými nádobami. Hranici jednotlivého objemu jsem označil na nádobě viditelně, aby bylo možné co nejpřesněji ukončit měření. Jak je vidět, nádoba pro měření většího objemu má přibližně stejnou výšku, ale větší poloměr než nádoba pro měření menšího, a jelikož se jedná o tvary podobající se válci, tak bych bral za

přesnější měření menších objemů, jelikož bylo jednodušší zachytit okamžik, kdy se objem nejvíce přiblížil žádané hodnotě.



Obr. 5.1 Čerpací stanice při kalibraci (měření)

5.2 NASTAVENÍ ČERPACÍHO SYSTÉMU

Po kalibraci průtokoměru je zapotřebí nastavit mikroprocesor tak, aby na displeji zobrazoval správně protečený objem. Ze vztahu 4.3 je patrné, že pro správné měření je zapotřebí znát viskozitu látek, u kterých se bude měřit. Zde jsou uvedené viskozity jednotlivých látek[16],[17]:

Voda	$1 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$
Motorová nafta	$2\text{-}4,5 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$
Benzin	$0,5 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$

Měření jsem provedl s naftou, a dle rozdílu podle kalibrace průtokoměru s vodou usoudím, zda průtokoměr bude moci být nastaven na měření jak vody, tak nafty a benzínu. Dle vztahu 4.3 by měl být objemový průtok Q_v menší pro průtok nafty oproti průtoku vody a tím se zároveň zmenší frekvence otáček. Výsledkem by mělo být zvýšení počtu impulsů (za stejného protečeného objemu) při

měření průtoku nafty oproti použití vody. V tabulce 5.5 jsou uvedeny výsledné změřené hodnoty. Jak je vidět, potvrdil se teoretický rozbor, že počet impulsů bude větší. Pro přesnější měření stanici nastavím pro měření nafty, a měření ostatních kapalin zanedbám.

Tabulka 5.5 Naměřené hodnoty pro objem 1l (nafta)

č.měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	průměr
počet pulsů	70	69	69	67	69	70	70	69	70	68	69,10
ml/impuls	14,29	14,49	14,49	14,93	14,49	14,29	14,29	14,49	14,29	14,71	14,47

Před konečným nastavením je potřeba stanovit počet míst zobrazení průtoku na displeji. Dle mě je dostačující aktualizovat protečené množství po každém protečeném litru. Z toho vyplývá, že při dosáhnutí 69 impulsů se inkrementuje protečení množství o jeden litr.

5.3 STANOVENÍ NEPŘESNOSTI MĚŘENÍ

Dle použitých metod nejde počítat s tím, že systém bude absolutně přesný a je tedy zapotřebí určit aspoň přibližnou velikost hodnoty lišící se od skutečného výsledku. Případné zvýšení chyby měření samotného průtokoměru při použití jiné kapaliny, než ke které byl vyroben, jsem dle mého názoru eliminoval při zahrnutí vlastností dané kapaliny do vzorce 4.3 Chyba ovšem nastává v okamžiku, kdy jsem frekvenci otáček nevypočítal pro jeho, dle mého názoru, značnou složitost a místo toho jsem počet impulsů změřil. Zde jsem se mohl, a určitě i dopustil, několika nepřesností.

Největší chyba vznikla dle mého názoru při spuštění měření a následném ukončení při požadované hodnotě. Když se zanedbá doba, která uběhne od optického potvrzení dosáhnutí požadované hodnoty do ukončení samotného měření, tak největší nepřesnost je právě v odhadnutí hladiny daného objemu. Této skutečnosti by se dalo vyhnout například při měření hmotnosti protečené kapaliny než měření objemu, kdy by se dalo zajistit za použití přesnější váhy a znalosti hmotnosti dané jednotky objemu kapaliny dle mého názoru daleko přesnější výsledek. Ovšem

vycházel jsem ze svých možností, a hlavně z požadavků kladených na systém. Chyba měření vzniklá při opakovaném měření se vypočítá dle vztahu[28]:

$$u = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.4)$$

,kde n je počet měření, x_i je aktuální měření a \bar{x} je průměrná hodnota z měření.

Při použití hodnot z tabulky 5.1 ,tak pro počet pulsů vyjde:

$$u = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \cdot [(55 - 54,5)^2 + (54 - 54,5)^2 + \dots + (54 - 54,5)^2]} = 0,167 \approx 0.17$$

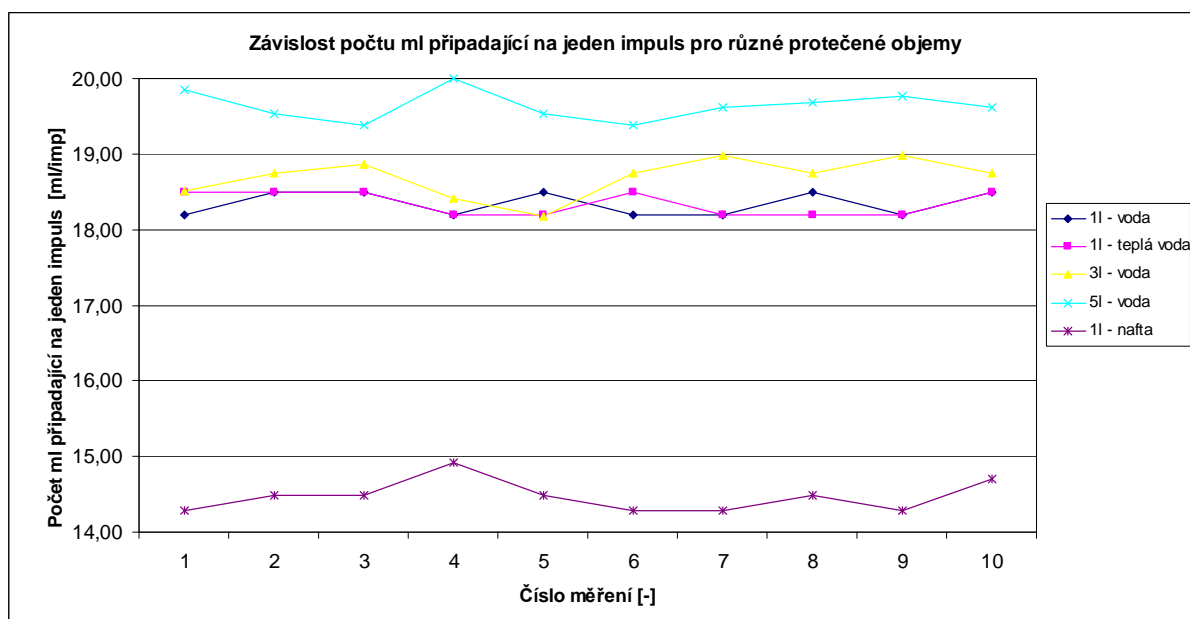
Pro tabulky 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 platí stejný vzorec (5.4) a postup výpočtu je stejný jak pro tabulku 5.1 V tabulce 5.6 jsou souhrnně uvedeny výsledky kalibrace a měření, na obrázku 5.1 je následně vidět graf srovnání pro všechna měření a jejich výsledný počet ml připadající na jeden impuls.

Tabulka 5.6 Výsledky měření a kalibrace

Protečený objem	Kapalina	Výsledek [imp/l]
1l	voda (15°C)	(54,50±0,17)
1l	voda (60°C)	(54,50±0,17)
3l	voda (15°C)	(53,50±0,24)
5l	voda (15°C)	(50,94±0,16)
1l	nafta	(69,10±0,31)

Z tabulky 5.6 je vidět, že konstanta odpovídající počtu impulsů připadající na jeden litr se liší od celkového protečeného množství. To je ovšem při zamyšlení špatný závěr. Konstanta by se neměla měnit podle toho, zda celkově proteče jeden litr, nebo pět litrů. Tento výsledek byl s největší pravděpodobností způsoben použitím různých odměrných nádob a hlavně o poznání horší odhadování dosažené hodnoty protečeného objemu u větších nádob. Jak je vidět, u protečeného množství jednoho

litru došlo pro různé rychlosti průtoku ke stejnému závěru. To mě vedlo i k závěru použít tuto hodnotu protečeného objemu ke zjištění konstanty počtu impulsů připadající na jeden litr a následném nastavení této hodnoty v softwarovém vybavení zpracovávací jednotky. Pro použití uvedeného objemu svědčí také minimální rozdíly počtu impulsů připadající na jeden litr při provedení více měření v tabulce 5.1, respektive tabulce 5.4 oproti tabulkám 5.2 a 5.3.



Obr. 5.2 Graf závislosti počtu ml připadající na jeden impuls pro různé protečené objemy

6. SHRUTÍ

6.1 SROVNÁNÍ S JINÝMI VÝROBKY

Cílem práce nebylo nejen vybrat řešení pro realizaci, ale i konečné srovnání s podobnými výrobky, které jsou již na trhu dostupné. Jednotlivé parametry jsem vybral a pro srovnání uvedl v tabulce 6.1 .

Tabulka 6.1 Srovnání parametrů s jinými výrobky [18],[19],[20]

	Mé zařízení	Quickmini 12V	Diesel-Eco-Box II	Komfort
rychlost průtoku [l/min]	3,5	36	50	50
napájení	12V	12V	230V	230V
připojení bez čerpadla	A	N	A	N
průměr hadice/připojení	DN 1/2"	DN 1"	-	19mm
délka hadice od čerpadla	1,2m	4m	-	-
zobrazení průtoku	A - dig	N	A - analog	A - dig
výdejní pistole	N*	A	A	A
PHM jako měřená kapalina	A**	A***	A****	A
cena [Kč]	500****	5250	-	106350

Poznámky: A=ano, N=ne, Dig=digitální, Analog=analogové, (-) =není uvedeno

*pro snížení nákladů jsem nepoužil

**přístroj kalibrován pouze pro naftu

***nesmí se použít pro čerpání benzínu, kyselin a jiných výbušných látek

****použití pouze pro naftu, nekalibrován

*****částka je pouze orientační, udaná za věci, které bylo potřeba pořídit k sestavení stanice.

Je vidět, že můj navržený systém se dle parametrů přibližuje k Quickmini 12V (obrázek 6.1). Stránky distributora uvádějí následující využití: „Čerpadla řady *QUICK* jsou praktická a snadno ovladatelná, patří mezi základní vybavení všech farem, průmyslových závodů, přepravních a stavebních společností, domácností, kde se jejich prostřednictvím doplňují nádrže zemědělských, zahradnických a ostatních dieselových strojů. Čerpadlo řady *QUICK* je také možno využít pro napájení topného systému topnými oleji.“ [19]. Těmito slovy bych shrnul i své řešení. Jedinou velkou nevýhodou tohoto výrobku oproti mému řešení je absence průtokoměru s konečným zobrazením protečeného množství. Je tedy patrné, že toto zařízení je čistě jen pro přečerpávání z místa A (zásobník) do místa B (nádrž stroje, auta atd.).



Obr. 6.1 Řada výrobků přečerpávacího zařízení QUICK

Tento nedostatek už sebou nenese další zařízení pro přečerpávání Diesel-Eco-Box II (obrázek 6.2), kde zobrazení průtoku obstarává analogové počítadlo. Distributor zařízení specifikuje jako: *”Kompaktní systém výdeje nafty pro neveřejné použití – nekalibrovatelný“* [18]. Dále uvádí, že je zde možnost nezávislého fungování, po mém dotazu směřujícím k distributorovi mi byl zaslán propagační leták, kde jsem ovšem nenašel vysvětlení této specifikace, a tedy dle mého názoru je tím myšleno, že napětí 230V je použito jen pro napájení čerpadla, které lze vyjmout ze systému a průtokoměr bez další přítomnosti napětí je možno použít k měření nafty, která je dodávaná externím čerpadlem mimo měřicí systém, stejně jak je tomu u mého zařízení.



Obr. 6.2 Systém výdeje nafty Diesel Eco Box II

Jako poslední jsem vybral pro porovnání sestavu Komfort (obrázek 6.3), kterou bych řadil mezi čerpací stanice, než malá domácí čerpací stanice. O tom svědčí i cena zařízení 128900Kč bez DPH. Distributor dodává k systému pro úplnost

i technicky způsobilou nádrž o různých objemech. Cena samotného stojanu (MC 50) bez nádrže je 37950 Kč. Velkou cenu vidím nejen v přesnosti ale zároveň možnostech systému: „Jednotliví uživatelé se přihlašují k odběru čipovým klíčem nebo PIN kódem přímo na klávesnici digitálního průtokoměru. U každého tankování je zaznamenán množství, datum a čas tankování, číslo řidiče, popřípadě SPZ vozidla a stav tachometru, sestava může být doplněna o tiskárnu kontrolních lístků. Za příplatek možno dokoupit přenosovou sadu se SW k PC, pro snadnější kontrolu a evidenci tankování. Provozovatel má pak možnost prostřednictvím Master klíčem kontrolovat a evidovat spotřebu jednotlivých uživatelů.“[20]. Maximální počet uživatelů je 50 a při ostatních funkcí tohoto systému je jasné, proč bych tento systém radil již do jiné kategorie, i když se týká stejné problematiky, a to měření průtoku PHM.



Obr. 6.3 Systém přečerpávání PHM Komfort

6.2 OVLÁDÁNÍ SYSTÉMU

V ovládacím softwaru jsou použity následující funkce a proměnné:

- Menu – proměnná, jejíž hodnota odpovídá pozici v menu (0-3)
- Vypis_menu() – funkce, která při zavolání vypíše aktuální pozici v menu na displej

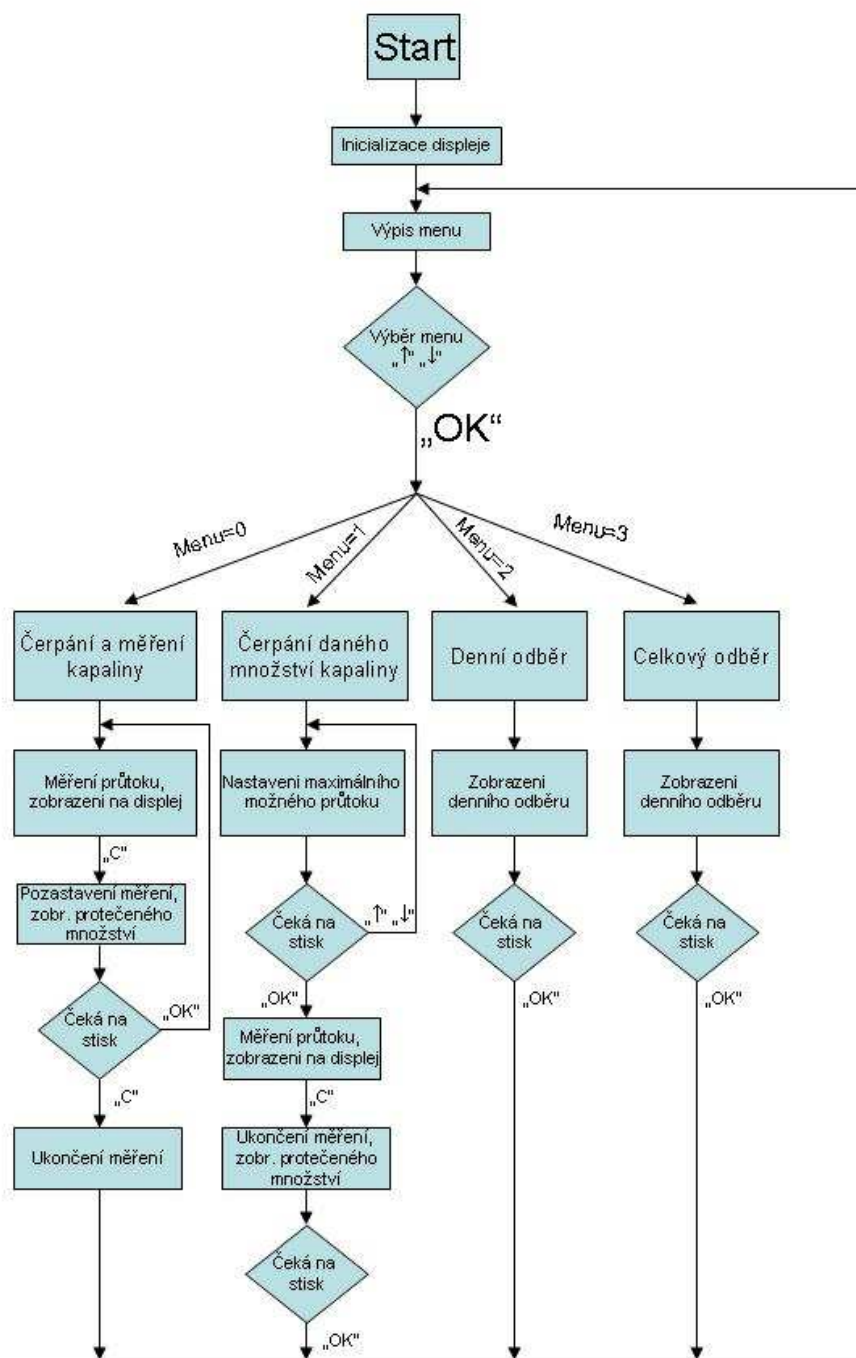
- Cerpani() – funkce obstarávající měření průtoku, při jejím zavolání se povolí přerušení, sepne se čerpadlo a na displeji se zobrazuje aktuálně protečené množství.
- Davkovani() – obdobná funkce jako cerpani(), ovšem před zahájením čerpání jsou doplněny informace o maximálním možném protečeném množství.
- Denní() – zobrazuje na displej aktuální protečené množství od zapnutí přístroje.
- Celkovy() – obdobná funkce jako denní(), ovšem zde je protečené množství zaznamenáváno od doby uvedení do provozu. (Pozn. Tuto funkci se mi nepodařilo dobře obsloužit, a proto je momentálně nedostupná.)

Výše uvedené funkce a proměnné jsou dle mého názoru nejdůležitější. Celkový zdrojový kód s doplňujícími proměnnými a funkcemi je možno vidět v souboru ovladaci_modul.c, který je uložen na disku v příloze 3.

Pro samotné ovládání systému slouží již zmiňovaná čtyři tlačítka „OK“, „C“, „↓“ a „↑“ (obrázek 6.4). Ovládání systému je patrné z obrázku 6.5 , kde je vyobrazen stavový diagram.



Obr. 6.4 Rozložení tlačítek a displeje na předním panelu



Obr. 6.5 Stavový diagram ovládání systému

7. ZÁVĚR

Bakalářská práce navazovala na předchozí semestrální práci. Výsledné teoretické řešení bylo dovedeno do výsledné realizace. Použití obyčejného domácího vodoměru jako měřicího prvku se ukázalo jako dobrý krok. Vznikl ovšem problém při použití jiné kapaliny, než pro kterou je vodoměr vyroben. Následně jsem jej vyřešil teoretickým rozbořem závislosti frekvence otáček na vlastnostech použité kapaliny, a tento teoretický poznatek prakticky ověřil měřením.

Na trhu je dostatek komerčních výrobků zabývajících se stejnou problematikou, ale ze srovnání je vidět, že většina parametrů se shoduje s mým výsledným řešením. Největší rozdíl se týkal rychlosti průtoku, kdy můj systém dosahuje podstatně menší rychlosti průtoku. Nutno však podotknout, že je to výsledkem použití daného čerpadla, kdy za použití jiného, výkonnějšího čerpadla s větší rychlosti průtoku by bylo možno dosáhnout stejných hodnot průtoku bez dalšího nastavování části pro zpracování signálu z průtokoměru.

Cena byla ve srovnání s komerčními výrobky daleko menší, je to ovšem dáno použitými částmi čerpací stanice, kde díky svým možnostem jsem obstaral většinu zdarma. Při zakoupení jednotlivých částí by se i tak cena dostala na poloviční hodnotu nejlevnější uvedené komerční stanice. Cena se odvíjela od pořizování elektrotechnických a dalších nezbytně nutných součástek.

Samotná práce dokazuje, že mnou vybrané součásti systému vedou k úspěšnému sestrojení malé čerpací stanice za nižší cenu, než za kterou je podobné zařízení možno zakoupit na trhu. I přes uvedené výsledky, nemůžu vyslovit, že mé řešení je totožné s komerčně dostupnými zařízeními. Uvedené protečené množství má čistě informativní ráz. Všechny součásti jsou dle výrobce odolné vůči agresivitě používané látky, s výjimkou samotného průtokoměru. I ten by však měl být odolný vůči této látce, ovšem bylo by zapotřebí podrobit celý systém dlouhodobějšímu testu, kdy by byl v neustálém kontaktu s danou látkou. Provedení tohoto dlouhodobého testu bohužel nebylo v mých možnostech.

8. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] S. ĎADO, L. BEJČEK, A. PLATIL Měření průtoku a výška hladiny. Praha: BEN, 2005, 448 s. ISBN 80-7300-156-X
- [2] *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 9.7.2008 [cit. 20.1.2009]. Vodoměr. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodom%C4%9Br>
- [3] FRÝZA, Tomáš ; FEDRA, Zbyněk; ŠEBESTA, Jiří. *Mikroprocesorová technika : Laboratorní cvičení*. Ústav radioelektroniky : Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, [200?]. 50 s.
- [4] *ÚNMZ - Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. Datum poslední revize 6. května 2009[cit. 10.5.2009]. Dostupné z <http://www.unmz.cz>
- [5] Sbírka zákonů ČR - § 26 zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů
- [6] BOLDIŠ, Petr. Bibliografické citace dokumentu podle CSN ISO 690 a CSN ISO 690-2: Část 2 – Modely a příklady citací u jednotlivých typu dokumentu. Verze 3.0 (2004). c 1999–2004, poslední aktualizace 11. 11.2004. Dostupné z <http://www.boldis.cz/citace/citace2.pdf>
- [7] VLACH, Jiří. Hmotnostní průtokoměry firmy SIEMENS. *Automatizace*, prosinec 2004, roč.47, č. 12, s.769. Dostupné z <http://www.automatizace.cz/article.php?a=443>
- [8] KABEŠ, Karel. *Corioliosovy hmotností průtokoměry – přehled trhu*. *Automatizace*, prosinec 2004, roč.47, č.12, s.760. Dostupné z <http://www.automatizace.cz/article.php?a=440>
- [9] *FLOMAG – Měřicí a regulační technika* [online]. [cit. 18.4.2009] . Dostupné z <http://www.flomag.cz/produkty/prutokomery/prevodniky/flomag-3000.html>
- [10] PÁTÍK, Martin. *Clonové průtokoměry- Industry Automation & Drive Technologies – Siemens*[online]. [cit.18.4.2009]. Dostupné z <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=1ee6c90e39&ctxp=home>

- [11] *Badger Meter - Turbínové průtokoměry* [online]. [cit. 18.4.2009]. Dostupné z <http://www.badgermeter.cz/produkty/mechanicke-prutokomery/turbinove-prutokomery/>
- [12] KADLEC, Karel. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 1) [online]. *Automa*, 2006, č.10, s.5. Dostupné z <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au100605.pdf>
- [13] KADLEC, Karel. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 2) [online]. *Automa*, 2006, č.11, s.24. Dostupné z <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au110624.pdf>
- [14] Průtokoměry v současné praxi [online]. *Automa*, 2002, č.02. Dostupné z http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28348
- [15] Principy měření průtoku a množství tekutin [online]. *Automa*, 2002, č.02. Dostupné z http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28336
- [16] AKTiV OiL s.r.o. [online]. [cit 19.4.2009]. Dostupné z <http://www.aktivoil.cz/product/>
- [17] *Viskozita* [online]. [cit 21.4.2009]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozita>
- [18] www.phgia.cz / *Produkty – neveřejné čerpací stanice* [online]. [cit 20.5.2009]. Dostupné z <http://www.phgia.cz/index.php?disp=produkty&shw=100007&sess=&lang=0>
- [19] *Aquatrend O.K. spol. s r.o.* [online], poslední revize 4.5.2009 [cit 18.5.2009]. Dostupné z <http://www.cerpadlaolomouc.cz/katalog/sea-land/quick.htm>
- [20] *Traso s.r.o. - podnikové a veřejné čerpací stanice* [online], [cit 18.5.2009]. Dostupné z <http://traso.cz/produkty/nadrze/kompaktni-premistitelne-nadrze-na-naftu.html>
- [21] *Datasheet ATmega16 ATmega16L* [online]. Dostupné z http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf

- [22] *Datasheet L7800 SERIES* [online].
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/330/330-149/dsh.330-149.1.pdf
- [23] *Datasheet SUBMINIATURE INTERMEDIATE POWER RELAY HF8* [online].
Dostupné z http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/634/634-026/dsh.634-026.1.pdf
- [24] *User's Guide ATM1602B Liquid Crystal Display Module* [online]. Dostupné z
http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-128/dsh.513-128.1.pdf
- [25] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry*. 1. dotisk 1. českého vydání. Praha : BEN, 2004. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [26] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR : popis procesorů a instrukční soubor*. 1. vydání. Praha : BEN, 2003. 336 s. ISBN 80-7300-083-0.
- [27] MATOUŠEK, David. *Práce s inteligentními displeji LCD*. 1. vydání. Praha : BEN, 2006. 224 s. ISBN 80-7300-121-7.
- [28] GESCHEIDTOVÁ, Eva; REZ, Jiří; STEINBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice*. Brno : Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2002. 182 s.
- [29] FLEUREY, Peter. *Peter Fleury's Home Page* [online]. 2000 [cit. 2009-05-20].
LCD Interface. Dostupné z <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-lcd44780.html>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Přehled použití průtokoměrů dle jednotlivých metod

Příloha 2 Schéma zapojení

Příloha 3 CD s elektronickou verzí VŠKP a přílohami

Příloha 1 Přehled použití průtokoměrů dle jednotlivých metod

Metoda	Typ průtokoměru	Blíží specifikace snímače	Charakteristika principu měření	Výstup	Tlaková ztráta	Přesnost (procenta z měřícího rozsahu)	Rozsah průtoků (m³/h)	Poměr Q_{max}/Q_{min}	Použití
objemová	objemová měřidla	s nespojitou funkcí (zvonový krychloměr)	průtok je určen přírůstkem objemu za určitou dobu	lineární	-	lepší než 0,1	10^{-3} až 10^2	-	vhodné pro plyny a čisté a neviskózní kapaliny, zejména jako etalon
		se spojitou funkcí (membránový a bubnový plynoměr, pístové měřidlo, oválový průtokoměr)	cyklické plnění a vyprazdňování několika odměrných prostorů	lineární	střední až velká	0,1 až 2	10^{-3} až 10^3	100 : 1 až 200 : 1	především jako měřidla proteklého množství, bilanční měřidla
rychlostní	průtokoměry s měřením rozdílu tlaků	rychlostní sondy (trubice Pitotova, Prandtlůva; několikaotvorové sondy)	závislost dynamického tlaku proudícího média na rychlosti proudění	odmocnina	malá	2 až 5	1 až 10^3	3 : 1 až 10 : 1	rychlostní sondy jsou vhodné k jednorázovému měření; několikaotvorové sondy jsou vhodné i pro velmi rozměrná potrubí
		průřezová měřidla (clona, dýza, Venturiho dýza)	měření rozdílu statických tlaků před a za zúžením průtočného průřezu	odmocnina	střední až velká	0,5 až 2	10^{-4} až 10^3	4 : 1 až 8 : 1	dříve nejrozšířenější v průmyslu; nyní na ústupu ve prospěch průtokoměrů vírových, ultrazvukových atd.
		kapilární průtokoměry (laminární)	měření tlakového spádu na kapiláře	lineární	velká	0,5 až 5	10^{-5} až 10	100 : 1	zejména pro laboratorní měření
		kolenové průtokoměry	měření rozdílu tlaků tekutiny na vnitřní a vnější stěně kolena	odmocnina	bez přídavné tlakové ztráty	5 až 10	10 až 10^3	3 : 1	jednoduché měřidlo, ale s velkou nejistotou
	rotametry (plováčkové průtokoměry)	-	se změnou průtoku se mění průtočný průřez při téměř stále tlakové ztrátě	přibližně lineární	střední	0,5 až 5	10^{-4} až 10^3	10 : 1	vhodné pro laboratorní i provozní použití; měřící trubice musí být svislá
	náporové (deformační) průtokoměry	terčíkové průtokoměry	kinetická energie proudící tekutiny deformuje pružný prvek	odmocnina	střední až velká	5	1 až 10^4	50 : 1	vhodné k měření znečištěných, korozivních a viskózních tekutin
	turbínové a lopatkové průtokoměry	axiální průtokoměry (šroubový, turbínový)	silovým účinkem proudící tekutiny je uváděn do pohybu rotační prvek s otáčkami úměrnými rychlosti proudění	lineární	velká	0,1 až 2	10^{-4} až 10^3	20 : 1	vhodné k měření i za vysokých tlaků a teplot; neměří od nulového průtoku
		radiální průtokoměry (jedno- či několikaotvorový lopatkový průtokoměr)		lineární	velká	0,1 až 2	10^{-4} až 10^3	10 : 1	měření množství užitkové i pitné vody; neměří od nulového průtoku
	elektromagnetické indukční průtokoměry	-	elektromagnetická indukce při pohybu vodiče v magnetickém poli	lineární	žádná	0,5 až 2	10^{-3} až 10^5	30 : 1 až 100 : 1	pouze k měření elektricky vodivých kapalin; vliv teploty je zanedbatelný; necitlivé na změny hustoty, viskozity a tlaku; lze měřit obousměrně
	ultrazvukové průtokoměry	založené na Dopplerově jevu	měření změny frekvence ultrazvuku při odrazu od pohybující se nehomogenity v proudícím médiu	lineární	žádná	1 až 3	10^{-3} až 10^4	30 : 1	měřené médium musí obsahovat částice odrážející zvuk; vhodné k měření kalů a znečištěných tekutin
		vyhodnocující dobu šíření ultrazvukového signálu	měření doby šíření ultrazvuku ve směru a proti směru proudění	lineární	žádná	0,1 až 1	10^{-3} až 10^4	30 : 1	náročné na technické provedení; obtížná kalibrace; nezasahuje do proudu média; lze dodatečně instalovat na povrch potrubí i měřit obousměrně
	vírové průtokoměry	-	měří se frekvence vírů vznikajících při obtékání tělesa neproudnicového tvaru	lineární	střední	0,5 až 1	10^{-1} až 10^4	20 : 1 až 50 : 1	frekvenční výstup se snadno zpracovává číslicově; nevhodné pro malé průtoky; typická náhrada klasických průřezových měřidel
	značkovací průtokoměry	průtokoměry s umělé vytvořenou značkou	měří se doba, za níž se značka unášená tekutinou přemístí z místa svého vzniku ke snímači	lineární	žádná	0,1 až 1	-	1 000 : 1	vhodné pro kalibraci instalovaných průtokoměrů; lze měřit průtok i v potrubí složitých tvarů; nevhodné pro průběžné měření
		korelační průtokoměry	značkou je zvolená náhodná proměnná proudící tekutiny a koreluje se signály ze dvou za sebou umístěných detektorů	lineární	žádná	1	-	100 : 1	použitelné tam, kde ostatní metody selhávají; nevýhodou je složitě zařízení i zpracování signálu
hmotnostní	přepady, žlaby	měřicí přepad	měření polohy hladiny před přepadem	odmocnina	malá	2 až 5	10^{-1} až 10^4	400 : 1	měření průtoku kapalin v otevřených kanálech
		Parshallův žlab	modifikace Venturiho koncepce	odmocnina	malá	2 až 5	10^{-1} až 10^5	120 : 1	
	Coriolisovy průtokoměry	se zakřivenou trubicí	využití Coriolisovy síly vznikající při pohybu tekutiny v rotující soustavě	lineární	střední	0,1 až 0,5	1 až 10^3	50 : 1	nezávislé na změnách tlaku, teploty, viskozity, hustoty a vodivosti média
		s přímou trubicí		lineární	minimální	0,5 až 2		až 500 : 1	
	tepelné průtokoměry	hmotnostní termoanemometry	měří se chladičí účinek nucené konvekce na vyhřívané čidlo	odmocnina	střední	0,5 až 2	10^{-4} až 1	50 : 1	vhodné i k měření velmi malých průtoků v laboratorní i provozní praxi
		kalorimetrické hmotnostní průtokoměry	měří se míra oteplení způsobená prouděním hmoty	lineární v omezené oblasti	velká	0,5 až 2	10^{-5} až 1	100 : 1	

Příloha 2 Schéma zapojení

